Statistics Canada Statistique Canada

Statistics Canada
Analytical Studies Branch

Research Paper Series

Canada

ENERGY ANALYSIS OF CANADIAN EXTERNAL TRADE: 1971 and 1976

by

K.E. Hamilton

No. 11

Structural Analysis Division
Statistics Canada
1988

The author gratefully acknowledges the assistance of H. Trépanier, G. Koutoulas, C. DeBresson and G. Picot in the preparation of this paper.

The analysis presented in this paper is the responsibility of the author and does not necessarily represent the views or policies of Statistics Canada.

ABSTRACT. Methodology and results are presented to show that Canadian exports (dominated by raw and semi-finished goods) were significantly more energy intensive than imports (dominated by manufactured goods) in both 1971 and 1976 - the net surplus of export energy requirements over import energy requirements totaled 9% of domestic use of energy in 1971. Exports of goods and services were 26% more energy intensive per dollar than imports in 1976. Canadian intensiveness of energy use, as measured by the aggregate energy/GDP ratio, changed little over this period. Decomposition of commercial energy requirements per dollar of GDP reveals that final consumption patterns and direct energy use coefficients (the use of energy per constant dollar of production in each commercial sector) moved in the direction of increased energy intensity between 1971 and 1976; these effects were largely counteracted by shifts in the pattern of trade.

Key Words: energy analysis, external trade.

Introduction

The hypothesis that the factor endowment of a country will be reflected in its trade (made precise in the Heckscher-Ohlin theorem) was explored empirically by Leontief [1] in 1953, with surprising results: in what has come to be known as the "Leontief paradox" his Input/Output analysis of the factor content of American trade revealed that the United States exported goods and services which were more labour intensive and less capital intensive than its imports. Work since that date has focused on the quality of the factors measured (e.g. labour skills) and on different kinds of factors - the study by Postner [2], for instance, looked at renewable and non-renewable resource requirements in Canadian trade. The present study examines a resource of great importance in the 1970's and 80's, primary energy.

The scale and structure of external trade in goods and services has profound effects on the overall energy intensiveness of any economy. This study is concerned with the comparison of the energy required to produce the bill of goods which Canada exports with the energy savings (or, more accurately, foregone energy requirements) associated with the import bill of goods. There is an intrinsic interest in exploring the extent to which Canada has tended to be a net exporter of energy "embodied" in its goods trade, but there are practical implications as well, particularly with respect to Canada's dealings with the International Energy Agency and to the relationship between Canadian energy policy and industrial development policy.

Equally worth investigating are structural changes, especially in energy consumption patterns, before and after the oil shock of 1973. To examine this the present study will look at shifts in the intensity of energy use in the commercial sector between 1971 and 1976, and will decompose these shifts in an effort to compare effects due to trade with other structural changes.

Table 1 provides the necessary background for what follows. In it we see the structure of production and trade for primary energy commodities in 1971 and 1976. The notion of "primary equivalent" employed is that of standard international practice: secondary energy products (such as gasoline and fuel oil) and all electricity are counted as the amount of thermal energy which would be required for their production. "Hydro electricity" includes nuclear generation in this and following tables.

Aggregate domestic product and trade figures are shown in Table 2, as well as energy indicators such as the energy/GDP ratio, the self-reliance ratio (the ratio of total primary energy production to domestic use), and the trade ratio (the average of exports and

Table 1
Primary Energy Production and Trade

1971
Petajoules Primary Equivalent

	Production	Exports	Imports	Domestic Supply (DS)	Share of DS
Coal	405	205	478	678	9.7%
Nat. Gas	2404	961	15	1458	20.8%
Hydro El.	1732	76	35	1691	24.1%
Crude oil	3298	1670	1495	3123	44.5%
PLPG	163	97	0	66	0.9%
Total	8002	3009	2023	7016	100.0%

1976
Petajoules Primary Equivalent

	Production	Exports	Imports	Domestic Supply (DS)	Share of DS
Coal	620	343	439	716	8.2%
Nat. Gas	2866	1006	4	1864	21.3%
Hydro El.	2406	134	38	2310	26.4%
Crude oil	3237	1058	1616	3795	43.4%
PLPG	242	182	0	60	0.7%
Total	9371	2723	2097	8745	100.0%

Notes: Source: Ref. 3
PLPG - primary liquefied petroleum gases.

imports in proportion to domestic use).

These tables display two static elements in the aggregate energy picture: the shares of fuels in domestic energy supply, and the energy intensity (as measured by the energy/GDP ratio). The trade-related indicators show more movement: both self-reliance and the proportion of trade to domestic use decline significantly from 1971 to 1976 - we see, therefore, both a decline in the surplus of Canadian production over domestic needs and a reduction in the relative size of trade in energy products in comparison with the domestic market.

Table 2
Aggregate Economic and Energy Indicators

Millions of 1971 dollars

	1971	1976
GDP [1]	95635	120113
Exports	20668	24616
Imports less re-exports	18993	27645

Energy Indicators

	1971	1976	
Primary Energy/GDP	73.4	72.8	Megajoules/ 1971 $
Self-reliance ratio	1.14	1.07	
Trade ratio	0.36	0.28	

Notes: [1] Source: Ref. 4

Self-reliance is the ratio of primary energy production to domestic use of primary energy. The trade ratio is the average of exports and imports of primary energy in proportion to domestic use.

The object of the analysis that follows is to dig beneath the aggregate production and trade figures to reveal how external trade in goods and services influences overall energy requirements and to examine how these and other influences changed from 1971 to 1976. The methodological basis of the study is Input/Output energy analysis, first described by Herendeen [5] and more fully expounded by Flaschel [6]. Working papers produced at Statistics Canada presented Canadian experience in the methodology [7] and its application, including an energy analysis of external trade using 1966 data [8].

The technical details of I/O energy analysis are reserved for the Appendix. All dollar figures in this study are constant 1971 dollars.

The Energy Analysis of External Trade

Where Table 1 displays the trade in energy products, we now turn our attention to the energy required to produce the goods which Canada trades. This will shed new light on Canadian external trade.

The power of Input/Output (I/O) based energy analysis is that it permits the estimation of direct and indirect use of energy to produce any of the spectrum of goods and services Canadians consume. As an example, I/O energy analysis permits measurement of both the energy used on the production line in the manufacture of an automobile (the direct energy) and the energy required to produce the steel, glass, plastic, rubber, etc., of which the auto is constituted (the indirect energy). The total direct and indirect primary energy needed to produce a given product will be referred to as the energy requirements of that product.

To estimate the net effect of external trade on Canadian energy consumption two I/O simulations were carried out, one in which total final consumption including exports and imports was maintained at historical levels, and the second in which there was the same final consumption but exports and imports were set to zero. The "without trade" variant therefore simulates a hypothetical closed Canadian economy.

In both simulations what is being measured is the energy requirement of total final demand (i.e. direct and indirect energy used to produce the goods and services) rather than the amount of energy actually exported, imported, or consumed by households or governments. These calculations are summarized for 1971 and 1976 in Table 3.

We can conclude from Table 3 that Canada's pattern of trade entailed increases in energy requirements in both 1971 and 1976, with the effect being more pronounced in 1971; this is equivalent to saying that export energy requirements were greater than the energy requirements foregone in imported goods.

The earlier working paper by Hamilton [8] arrived at similar results about the dominance of export energy requirements. Although the methodology was different in its details, this paper showed that in 1966 the surplus of export energy requirements over imports amounted to 5.2% of domestic use, or 8.5% of commercial energy usage - the corresponding 1971 figures from Tables 1 and 3 are 9% and 14.3%.

Further light can be shed on these results by looking at the energy intensiveness of exports and imports. We define energy intensiveness of a bill of goods and services to be the direct and

Table 3
Canada Total Primary Energy Requirements
With and Without External Trade

Petajoules

	1971	1976
With trade	4607	5860
No trade	3947	5449
% difference	-14.3%	-7.0%

Notes: Percent difference is with respect to the "with trade" figure in each year.

indirect energy required by the commercial sector (i.e. all primary, secondary and service industry) to deliver one dollar of the products to a final user.

Table 4 compares the energy intensiveness of exports and imports. To give a common basis for the comparison, imports are restricted to competitive imports (i.e. those for which there is a competing Canadian producer). This table shows export energy intensity to be nearly constant between 1971 and 1976 at about 120 megajoules per 1971 dollar. Import energy intensity declines substantially over these years but remains from 22% to 26% less than export energy intensiveness. The apparent discrepancy between Tables 3 and 4 is explained by referring to Table 2: from 1971 to 1976 the current account trade balance in constant dollars changed from a state of modest surplus to one of more substantial deficit.

A word needs to be said about the methodology used in measuring import energy intensiveness. Tables 3 and 4 show the result of measuring the energy requirements of imports as if they were produced in Canada using Canadian technology. It is arguable that this overstates the "actual" energy required to produce the goods Canada imports since our trading partners all experienced sharper energy price increases than we did in the 1970's. However, it is also arguable that measuring imports according to domestic energy requirements foregone is the only meaningful way to calculate import energy "savings" which are comparable to export energy "costs", and, moreover, that the only relevant savings are those of energy that would be required if production took place in Canada.

Having noted the decrease in import energy intensiveness between

Table 4
Energy Intensiveness of Exports and Imports
Megajoules per 1971 dollar

	1971	1976
Exports	121.8	119.8
Imports	94.5	88.3
% difference	-22.4%	-26.3%

Notes: Percentage difference is with respect to the export figure in each year.

Imports are competitive imports less re-exports.

1971 and 1976, it is possible to ask to what extent this decrease was owing to changes in techniques of production (and in particular the energy-using characteristics of these techniques) as compared with changes in the mix of goods and services imported. As outlined in the Appendix, I/O energy analysis permits the decomposition of the difference in import energy intensiveness into two terms representing precisely these effects. The results of this decomposition can be seen in Table 5.

Table 5
Import Energy Intensity Change Decomposition
Megajoules per 1971 dollar

1971 Intensity	94.5
1976 Intensity	88.3
Difference	-6.2
Energy intensity term	0.8
Import composition term	-7.0

The "energy intensity term" in Table 5 measures the effects of changes in production techniques including energy utilization; it shows a minor increase in the energy intensiveness of the average import. The effects owing to shifts in the composition of imports are more pronounced and negative. We see, therefore, that the decrease in energy intensiveness of imports from 1971 to 1976 was

almost entirely owing to changes in the mix of imports.

Structural Changes in Energy Requirements

The preceding section examined the energy requirements of exports and imports and how these changed from 1971 to 1976. This raises the question of what other changes occurred in the patterns of energy consumption between these two years and how the effects owing to trade compared with them.

The starting point in this analysis is to compare the total commercial energy use per constant dollar of GDP in each year - dividing by GDP controls for the effects economic growth. Using techniques similar to those employed in the analysis of changes in import energy intensiveness, it is possible to decompose the difference in commercial energy use per dollar of GDP between 1971 and 1976 into a series of discrete terms. The terms we choose to highlight here are: technology, final demand, imports (both scale and mix), exports (scale and mix), and direct energy use coefficients.

These terms require some explanation:

- Technology: this term combines the effects of changing input structures and market shares of all commercial sectors.

- Final demand: shifts in the quantity and mix of goods and services going to households, governments, investment and inventory accumulation are combined in this term.

- Imports: separate terms for the changing scale of imports (their proportion to GDP) and changes in the mix of imports are represented.

- Exports: as for imports, separate terms for scale and composition are calculated.

- Direct energy use coefficients: a fundamental determinant of energy intensiveness is the quantity of energy consumed per constant dollar of production in each sector. The aggregate effect of changes in these coefficients is measured by this term.

Table 6 displays the change in commercial energy use per dollar of GDP between 1971 and 1976 and its decomposition. Negative figures in this table indicate terms tending to decrease the energy intensity of the commercial sector in 1976 compared with 1971. Note that the change in the aggregate is negligible, 0.6%. However, there are some significant changes in individual

Table 6
Decomposition of Commercial Energy Use
Per Dollar of GDP

Megajoules per 1971 Dollar

1971 primary energy requirements	48.2	
1976 primary energy requirements	48.4	
Change (1976-1971)	0.3	(0.6%)
Changes in commercial energy use per dollar of GDP owing to:		
Technology	-1.7	(3.6%)
Final demand	3.0	(6.2%)
Import mix	1.3	(2.6%)
Import scale	-3.0	(6.2%)
Export mix	-1.6	(3.2%)
Export scale	-1.5	(3.0%)
Direct Energy Coeff.	3.7	(7.7%)
Selected aggregates of these terms:		
Demand, trade & tech.	-3.5	(7.2%)
Demand & trade	-1.8	(3.6%)
Imports	-1.7	(3.6%)
Exports	-3.0	(6.2%)

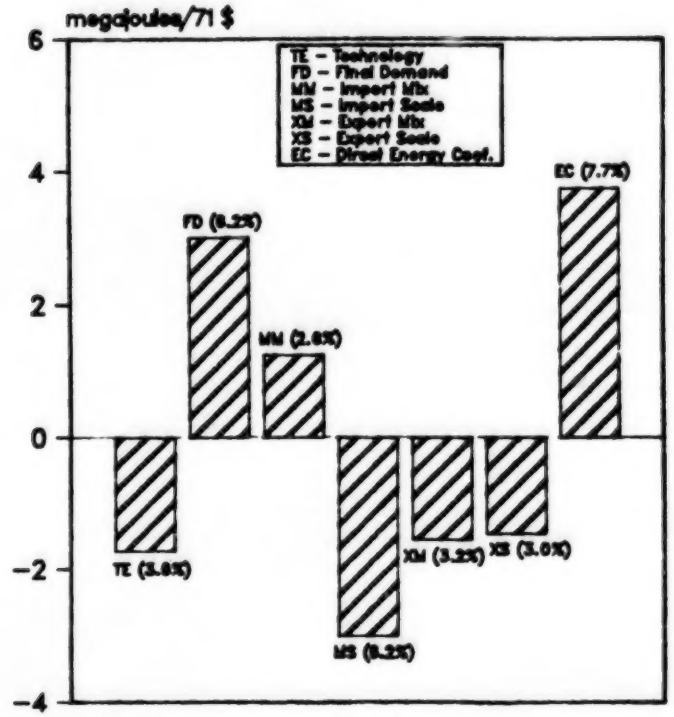
Note: Percentages are absolute values of proportion of 1976 commercial primary energy use.

components, especially final demand, import scale, and direct energy use coefficients, which stand out in Figure 1.

Noting that the combined effect of export scale and mix is also significant, we can conclude from this decomposition that there were strong tendencies for the structure of final demand and direct energy use per unit of output in the commercial sector to increase energy intensiveness between 1971 and 1976; structural change in external trade largely canceled these effects.

Figure 1

DECOMPOSITION OF DIFFERENCE IN ENERGY REQUIREMENTS PER $ GDP 1976 – 1971



Discussion and Summary

The result that Canadian exports are more energy intensive than Canadian imports appears to be robust, having been measured for 1966, 1971 and 1976. We need not look far for the reason: Canadian exports are weighted towards raw and semi-finished goods, Canadian imports towards manufactures. The two examples in Table 7 are typical: for both paper products and iron and steel products the energy intensity per dollar reaches a peak at the semi-finished stage and declines steeply for the finished product.

Processes of extraction, separation, and concentration dominate the production chain up to the point of semi-finished products,

Table 7
Selected Energy Intensities, 1976
Megajoules per 1971 $

Pulpwood & chips	62.4	Iron ores & concentr.	198.6
Pulp	259.0	Pig Iron & steel ingots	232.3
Paper end prod.	105.9	Pipe & sheet metal	118.6

and in these stages energy inputs are high, value added low. Beyond the semi-finished state (i.e. through fabrication and assembly) the energy inputs are low, value added high. The initial rise and subsequent decline of the energy intensities by production stage seen in Table 7 is the result. However, it would require a more detailed investigation than the current study to prove this in detail.

Regarding changes between 1971 and 1976 we note that the energy intensiveness of both exports and imports decreased, the former by over 2 Megajoule/$ (a 1.7% decline), and the latter by over 6 Megajoule/$ (a decline of 7.0%). The import energy intensiveness was actually pushed upward slightly by changes in direct energy use coefficients, but changes in the composition of imports brought this sharply down.

Total commercial energy use per dollar of GDP (in constant dollars) changed by an insignificant amount over these years as, indeed, did the total energy/GDP ratio. Beneath this apparent stasis, however, is a spectrum of shifts in the constituents of the total: production technology, import scale, and exports (both scale and composition) moved in the direction of decreased energy intensity from 1971 to 1976; final consumption, import mix, and direct energy use coefficients moved towards increased intensity. Large increases in intensity associated with shifts in final demand and energy use coefficients were largely counteracted by changes in the structure of trade.

There are two unexpected results that are noteworthy: the apparent increase in direct energy use coefficients (corresponding to increased energy use per unit of production), and the minimal shifts in the aggregate energy/GDP ratio and fuel shares in domestic supply. The second of these has several likely explanations: (i) the energy-using stock items in the economy have long lifetimes (e.g. industrial boilers, private automobiles); (ii) the development of new energy conserving technologies takes time (e.g. designing and manufacturing efficient furnaces); and (iii) energy supply facilities, especially for electricity, have long construction times.

Table 8
Primary Energy Production and Trade
1981

Petajoules Primary Equivalent

	Production	Exports	Imports	Domestic Supply (DS)	Share of DS
Coal	970	464	449	955	10.1%
Nat. Gas	2526	804	0	1722	18.2%
Hydro El.	3162	370	15	2806	29.7%
Crude oil	3093	366	1138	3865	40.8%
PLPG	315	200	0	115	1.2%
Total	10066	2204	1602	9463	100.0%

Aggregate Economic Indicators
Millions of 1971 dollars

GDP [1]	139485
Exports	30917
Imports less re-exports	32055

Aggregate Energy Indicators

Primary Energy/GDP	67.8	Megajoules/1971 $
Self reliance ratio	1.06	
Trade ratio	0.20	

Notes: [1] Source: Ref. 4

Self-reliance is the ratio of primary energy production to domestic use of primary energy. The trade ratio is the average of exports and imports of primary energy in proportion to domestic use.

To give some indication of the difference another five years makes, Table 8 displays for 1981 the same summary information as appeared in Tables 1 and 2. Compared with 1976, we see exports of primary electricity increasing by nearly a factor of three, while those of crude oil fall by roughly the same factor. In the shares of domestic supply there is a significant increase in electricity and corresponding decline in crude oil. The primary energy/GDP ratio declines by nearly 7% and the trade ratio by 0.08.

Many of the results of this study relating to changes from 1971 to 1976 can be explained by changing relative prices. For instance, we note that imports shifted towards less energy intensive goods and services over this interval, and that there was a decline in trade in energy commodities as oil imports became expensive and domestic oil more scarce. The exception to this tidy picture is the direct use of energy per unit of production in the commercial sector, which actually increased slightly over the period in question.

Canada has traditionally been energy-rich and an exporter of energy products. This study reveals the degree to which this extends to Canada's being a significant net exporter of indirect energy through its structure of trade. In 1971 increased energy use inherent in Canadian trade patterns was over 14% of commercial energy use, over 9% of total domestic use. This is a consequence of exports being significantly more energy intensive per dollar than imports, amounting to some 26% in 1976.

Appendix: I/O Based Energy Analysis

The Canadian Input/Output system distinguishes 191 industries and 602 commodities in a rectangular accounting framework. To construct a working model two assumptions are invoked: (i) industry technology, wherein the inputs of commodities to each industry are held to be fixed in proportion to total industry output, and (ii) fixed market shares, whereby the proportion of the total market for a given commodity is assumed to be constant for each producing sector. By convention the technology matrix is denoted B (and is commodity by industry in dimension); the market share matrix (industry by commodity) is denoted D. For vectors of industry production g (i.e. the sum of all commodities produced by each sector), commodity production q, exports x, imports less re-exports m, and other final demand f, the following hold:

$$q = Bg + f + x - m \tag{1}$$

$$g = Dq. \tag{2}$$

The first identity says that commodity production is the sum of intermediate demand, final demand (including consumers expenditure, government expenditure, investment, and inventory accumulation), and exports, less imports. The second just states the market share assumption mathematically. For our purposes B and D are dimensionless coefficients, and all other vectors are measured in dollars. Based on this we can solve for industry output by substituting (1) into (2):

$$g = (I-DB)^{-1}D(f+x-m). \tag{3}$$

Defining e to be a row vector of total direct primary energy equivalents consumed per dollar of output in each commercial sector, direct plus indirect energy requirements per dollar of demand of each commodity (energy intensities) E may be expressed as:

$$E = e(I-DB)^{-1}D. \tag{4}$$

Complete specification of the construction of the Canadian I/O tables is given in reference [9]. The methodology for constructing the direct energy requirement coefficients is outlined in working paper [10]. The quality of these coefficients is enhanced by the availability of much of the important energy data in physical quantity in the Canadian statistical system (i.e. for agriculture, mining, manufacturing, utilities and transportation), eliminating the need to estimate physical quantities.

Given the preceding expression for energy intensities, the energy requirements to produce any bill of goods (measured in dollars)

can be obtained by taking the inner product of E and the bill of goods. According to this definition, energy requirements are the measure of energy consumption in the commercial sector; in National Accounting terms they represent the intermediate consumption of energy.

We should note from expressions (3) and (4) that the technology terms - $(I-DB)^{-1}D$ - are the equivalent of the Leontief inverse, and measure the inter-industry relationships with respect to a "pure" Canadian technology, with no leakages of intermediate imports. The net effect of external trade on commercial energy requirements is measured as the difference of the following two expressions:

$$t_1 = e(I-DB)^{-1}D(f+x-m) \quad (5)$$
$$t_2 = e(I-DB)^{-1}Df \quad (6)$$

Expression (5) represents the energy required to deliver demand f to final users combined with exports of goods x and imports of goods m - in this regard goods imports may be viewed as foregone energy requirements. Expression (6) calculates the energy required to deliver the same demand f to final users, but in the absence of trade.

The difference in import intensiveness can be decomposed into effects owing to changing commodity energy intensities and changing patterns of imports. Let the superscript "*" indicate 1971; arrays without this superscript represent 1976 figures. The change in import intensiveness can be represented as:

$$\begin{aligned} M-M^* &= Em - E^*m^* \\ &= (E-E^*)m + E^*(m-m^*) \end{aligned} \quad (7)$$

Here M is the energy intensity of imports for 1976, and m the pattern or composition vector (i.e. competitive imports less re-exports normalized to $1).

The decomposition of aggregate measures employed in expression (7) can be used effectively in examining the components of total commercial energy use per dollar of GDP and how these changed from 1971 to 1976. In what follows we assume that f, x, m, and g are all measured in constant dollars per constant dollar of GDP. Let S be the total commercial energy required per dollar of GDP and, for convenience of exposition, let:

$$R = (I-DB)^{-1}D, \quad d = f+x-m.$$

If, as previously, the superscript "*" represents values for 1971, then:

$$S-S^* = eg - e^*g^*$$
$$= e(g-g^*) + (e-e^*)g^*. \qquad (8)$$

The first term in (8) represents changes in commercial energy intensiveness owing to the structure of demand and production; the second represents changes owing to the structure of commercial energy use, that is, in the direct energy use coefficients e of expression (4). This expression can be further decomposed as follows:

$$g-g^* = Rd - R^*d^*$$
$$= (R-R^*)d + R^*(d-d^*) \qquad (9)$$

Changes in commercial energy intensiveness owing to changes in technology (or, more precisely, changes in input coefficients and market shares) are captured by the first term in (9), while the second represents changes owing to the structure of demand. This latter term decomposes in an obvious way into individual terms representing changes in the structure of final demand, exports, and imports. For exports and imports it is worth detailing the differences owing to scale (i.e. the proportion of GDP) and to composition. If X is the total proportion of exports in GDP for 1976, and t the normalized vector of exports, then:

$$x-x^* = Xt - X^*t^*$$
$$= (X-X^*)t + X^*(t-t^*). \qquad (10)$$

Decompositions of the difference of products such as those appearing in expressions (7) through (10) are not unique; it is easy to prove that if there are n terms in the product then there are 2^{n-1} different decompositions possible. A check of alternative decompositions for the subject matter of this study yielded similar results.

REFERENCES

1. Leontief, W., Input/Output Economics, Oxford University Press, 1966. (Chapter 5 reprints a paper from 1953.)

2. Postner, H.H., Factor Content of Canadian International Trade: An Input/Output Analysis, Economic Council of Canada, 1975.

3. Statistics Canada, Detailed Energy Supply and Demand in Canada, Catalogue no. 57-207.

4. Statistics Canada, The Input-Output Structure of the Canadian Economy in Constant Prices 1971-76, Catalogue no. 15-202E.

5. Herendeen, R.A., The Energy Cost of Goods and Services, Oak Ridge National Laboratory, ORNL-NSF-EP-58, Oct. 1973.

6. Flaschel, P., Input-Output Technology Assumptions and the Energy Requirements of Commodities, Resources and Energy, Vol. 4 No. 4, 1982.

7. McInnis, B., and K. Hamilton, Gross Energy Requirements for the Production of Goods - An I/O Baseline, Statistics Canada, Structural Analysis Division Working Paper 75-06-01.

8. Hamilton, K., An Energy Analysis of Canadian External Trade 1966, Statistics Canada, Structural Analysis Division Working Paper 77-03-03.

9. Statistics Canada, The Input-Output Structure of the Canadian Economy 1961-71, Catalogue no. 15-506E.

10. Deachman, J., and K. Hamilton, Energy Availability, Detailed Disposition, and Industrial Demand Coefficients for Canada, 1971, Statistics Canada, Structural Analysis Division Working Paper 78-08-01.

Statistique Canada Statistics Canada

Statistique Canada
Direction des études analytiques

Documents de recherche

Canada

ANALYSE ÉNERGÉTIQUE DU COMMERCE EXTÉRIEUR CANADIEN: 1971 et 1976

par

K.E. Hamilton

nº 11

Division de l'analyse structurelle
Statistique Canada
1988

L'auteur remercie beaucoup H. Trépanier, G. Koutoulas, C. DeBresson et G. Picot pour leur aide à la rédaction du présent document.

L'auteur assume seul la responsabilité des opinions formulées dans le présent document qui ne représentent pas nécessairement le point de vue de Statistique Canada.

RÉSUMÉ. Nous présentons des méthodes et des résultats pour montrer que l'intensité énergétique des exportations canadiennes (dominées en grande partie par les matières premières et les produits semi-finis) était beaucoup plus élevée que celle des importations (dominées en grande partie par les produits manufacturés) aussi bien en 1971 qu'en 1976. Tandis que le surplus net des besoins énergétiques des exportations par rapport aux besoins énergétiques des importations représentait 9% de la consommation intérieure d'énergie en 1971, l'intensité énergétique des exportations de biens et services était de 26% plus élevée par dollar que celle des importations en 1976. Au Canada, l'intensité de la consommation énergétique, mesurée par le ratio de la consommation globale d'énergie sur le PIB (ou indice énergétique), n'a pas beaucoup changé durant cette période. La décomposition des besoins énergétiques commerciaux par dollar de PIB révèle que la structure de la consommation finale et les coefficients de consommation énergétique directe (la consommation d'énergie par dollar de production dans chaque secteur commercial) ont fait augmenter l'intensité énergétique entre 1971 et 1976; mais ces effets ont été compensés en très grande partie par les changements observés dans la structure du commerce extérieur.

Mots clés: analyse énergétique, commerce extérieur.

Introduction

L'hypothèse selon laquelle la dotation en facteurs de production d'un pays se reflète dans son commerce (explicitée dans le théorème d'Heckscher-Ohlin) a été explorée empiriquement par Leontief [1] en 1953, qui a obtenu des résultats surprenants: dans ce qui est désormais appelé le "paradoxe de Leontief ", son analyse d'entrée-sortie du contenu factoriel du commerce américain a révélé que les États-Unis exportaient des biens et services à plus forte consommation de main-d'oeuvre et à moins forte consommation de capital que leurs importations. Les travaux effectués depuis ce temps ont surtout porté sur la qualité des facteurs mesurés (par exemple, les compétences de la main-d'oeuvre) et sur différents genres de facteurs - comme l'étude de Postner [2] qui portait sur les besoins en ressources renouvelables et les besoins en ressources non renouvelables dans le commerce canadien. Dans la présente étude, nous examinons une ressource d'une grande importance dans les années 1970 et 1980, l'énergie primaire.

L'importance et la structure du commerce extérieur de biens et services ont des effets profonds sur le degré d'intensité énergétique globale de toute économie. Dans la présente étude, nous avons comparé la quantité d'énergie requise pour produire le volume de biens que le Canada exporte et les économies d'énergie (ou, plus précisément, les besoins énergétiques qu'on n'est plus obligé de satisfaire) associés au volume des importations canadiennes. Il est intrinsèquement intéressant d'explorer dans quelle mesure le Canada a tendance à être un exportateur net d'énergie "incorporée" dans son commerce des biens, mais il y a aussi des implications pratiques, en particulier pour ce qui concerne les rapports qu'entretient le Canada avec l'Agence internationale de l'énergie et la relation entre la politique énergétique canadienne et les énoncés de politique de développement industriel.

Il est également intéressant d'examiner les changements structurels, en particulier ceux qu'on observe dans la consommation énergétique, survenus avant et après le choc pétrolier de 1973. Pour cela, nous avons examiné dans

la présente étude les variations de l'intensité de la consommation énergétique enregistrées dans le secteur commercial entre 1971 et 1976 et décomposé ces changements dans le but de comparer les effets attribuables au commerce avec d'autres changements structurels.

Le tableau 1 fournit les données de base nécessaires à ce qui suit. Le tableau illustre la structure de la production et du commerce de différentes formes d'énergie primaire en 1971 et 1976. La notion d'"équivalent en énergie primaire" employée dans le tableau correspond à la définition internationale standard: les produits énergétiques secondaires (comme l'essence et le mazout) et toute l'électricité sont comptés comme la quantité d'énergie thermique qui serait nécessaire pour les produire. L'"hydro-électricité" inclut l'électricité produite à partir de l'énergie nucléaire dans ce tableau et les tableaux suivants.

Le tableau 2 présente des chiffres agrégés sur la production intérieure et le commerce, ainsi que des indicateurs énergétiques comme le ratio énergie/PIB, le ratio d'auto-suffisance (le ratio de la production énergétique primaire totale sur la consommation intérieure) et le ratio du commerce extérieur (le rapport de la moyenne des exportations et des importations sur la consommation intérieure).

Deux éléments du portrait énergétique global affichés dans ces tableaux n'ont presque pas changé: les pourcentages des approvisionnements énergétiques intérieurs représentés par les différentes formes de combustible et l'intensité énergétique (mesuré par le ratio énergie/PIB), tandis que les indicateurs du commerce extérieur ont pour leur part varié beaucoup plus: le ratio d'auto-suffisance et le ratio du commerce extérieur sur la consommation intérieure ont diminué de façon sensible entre 1971 et 1976; cela nous amène à conclure que le surplus de la production canadienne par rapport aux besoins intérieurs a diminué et que la taille relative du commerce extérieur des produits énergétiques a diminué par rapport au marché intérieur.

Tableau 1
Production et commerce d'énergie primaire

1971
Équivalent en énergie primaire (pétajoules)

	Production	Exportations	Importations	Approvisionnements intérieurs (AI)	Proportion des AI
Charbon	405	205	478	678	9.7%
Gaz naturel	2404	961	15	1458	20.8%
Hydro-électricité	1732	76	35	1691	24.1%
Pétrole brut	3298	1670	1495	3123	44.5%
GPLP	163	97	0	66	0.9%
Total	8002	3009	2023	7016	100.0%

1976
Équivalent en énergie primaire (pétajoules)

	Production	Exportations	Importations	Approvisionnements intérieurs (AI)	Proportion des AI
Charbon	620	343	439	716	8.2%
Gaz naturel	2866	1006	4	1864	21.3%
Hydro-électricité	2406	134	38	2310	26.4%
Pétrole brut	3237	1058	1616	3795	43.4%
GPLP	242	182	0	60	0.7%
Total	9371	2723	2097	8745	100.0%

Notes: Source: Réf. 3
GPLP - gaz de pétrole liquéfiés primaires.

Tableau 2
Indicateurs économiques et énergétiques agrégés

En millions de dollars de 1971

	1971	1976
PIB [1]	95636	120113
Exportations	20668	24616
Importations moins réexportations	18993	27645

Indicateurs énergétiques

	1971	1976	
Énergie primaire/PIB	73.4	72.8	Mégajoules par $ de 1971
Ratio d'auto-suffisance	1.14	1.07	
Ratio du commerce extérieur	0.36	0.28	

Notes: [1] Source: Réf. 3

Le ratio d'auto-suffisance correspond au ratio de la production d'énergie primaire sur la consommation intérieure d'énergie primaire. Le ratio du commerce extérieur correspond au ratio de la moyenne des exportations et des importations sur la consommation intérieure.

L'objet de l'analyse qui suit est d'étudier les chiffres agrégés de production et de commerce extérieur pour voir comment le commerce extérieur des biens et services influe sur les besoins énergétiques globaux et comment ces effets et d'autres effets ont varié de 1971 à 1976. La méthode utilisée pour cette étude est l'analyse énergétique d'entrée-sortie, d'abord décrite par Herendeen [5] et exposée plus en détail par Flaschel [6]. Des documents de travail produits à Statistique Canada expliquent comment on a utilisé la méthode jusqu'ici au Canada [7] et montrent quelques résultats de son application, y compris les résultats d'une analyse énergétique du commerce extérieur effectuée à l'aide de données de 1966 [8].

Les détails techniques de l'analyse énergétique d'entrée-sortie sont réservés à l'annexe. Tous les chiffres en dollars figurant dans la présente étude sont exprimés en dollars constants de 1971.

Analyse énergétique du commerce extérieur

À partir des chiffres du tableau 1 sur le commerce des produits énergétiques, nous allons maintenant considérer l'énergie requise pour produire les biens que le Canada échange. Cela permettra de jeter une lumière nouvelle sur le commerce extérieur du Canada.

La force de l'analyse énergétique fondée sur un modèle d'entrée-sortie (E/S) est qu'elle permet d'estimer la consommation directe et indirecte d'énergie nécessaire pour produire n'importe quel éventail de biens et services consommés par les Canadiens. À titre d'exemple, l'analyse énergétique d'E/S permet de mesurer aussi bien l'énergie utilisée dans la chaîne de production pour fabriquer une automobile (l'énergie directe) que l'énergie nécessaire pour produire l'acier, le verre, le plastique, le caoutchouc, etc. dont l'automobile est constituée (l'énergie indirecte). L'énergie primaire directe et indirecte totale qui est requise pour produire un bien donné sera appelée les besoins énergétiques de ce produit.

Pour estimer l'effet net du commerce extérieur sur la consommation d'énergie au Canada, deux simulations d'E/S ont été effectuées, la première dans laquelle la consommation finale totale incluant les exportations et les importations était maintenue aux niveaux passés, et la deuxième dans laquelle on avait la même consommation finale totale mais où les exportations et les importations étaient fixées à zéro. La variante "sans commerce extérieur" simule donc une économie canadienne hypothétiquement fermée.

Dans les deux simulations, ce qu'on mesure, ce sont les besoins énergétiques de la demande finale totale (c'est-à-dire l'énergie consommée directement et indirectement pour produire les biens et services) et non la quantité d'énergie effectivement exportée, importée ou consommée par les ménages ou les administrations publiques. Les résultats des calculs sont résumés pour 1971 et 1976 dans le tableau 3.

On peut conclure à partir du tableau 3 que la structure du commerce extérieur du Canada a fait que les besoins énergétiques ont augmenté en 1971 et en 1976, mais de façon plus importante en 1971; cela revient à dire que les besoins

Tableau 3
Besoins en énergie primaire totaux du Canada

Pétajoules

	1971	1976
Avec commerce extérieur	4607	5860
Sans commerce extérieur	3947	5449
Différence en %	-14.3%	-7.0%

Notes: La différence en pourcentage est calculée par rapport au chiffre "avec commerce extérieur" de chaque année.

énergétiques des exportations étaient supérieurs aux besoins énergétiques qu'on n'a pas eu à satisfaire avec les biens importés.

Un précédent exposé par Hamilton [8] arrivait à des résultats analogues au sujet de la valeur numérique plus grande des besoins énergétiques des exportations. Même si la méthode utilisée par Hamilton différait dans ses détails, l'auteur a montré qu'en 1966, l'excédent des besoins énergétiques des exportations sur les besoins énergétiques des importations représentait 5.2% de la consommation intérieure ou 8.5% de la consommation énergétique du secteur commercial - les chiffres correspondants de 1971 tels qu'illustrés dans les tableaux 1 et 3 sont de 9% et 14.3% respectivement.

On pourra mieux comprendre ces résultats en examinant l'intensité énergétique des exportations et des importations. Nous définissons l'intensité énergétique d'un volume de biens et services comme l'énergie directe et indirecte requise par le secteur commercial (c'est-à-dire par l'ensemble des secteurs primaire, secondaire et des services) pour fournir un dollar de produit à un consommateur final.

Dans le tableau 4, nous comparons l'intensité énergétique des exportations et l'intensité énergétique des importations. Pour avoir la même base de comparaison, les importations sont limitées aux importations concurrentielles (c'est-à-dire aux importations pour lesquelles il y a un producteur canadien

Tableau 4
Intensité énergétique des exportations et des importations
Mégajoules par dollar de 1971

	1971	1976
Exportations	121.8	119.8
Importations	94.5	88.3
Différence en %	-22.4%	-26.3%

Notes: La différence en pourcentage est calculée par rapport au chiffre des exportations de chaque année.

Les importations correspondent aux importations concurrentielles moins les réexportations.

concurrent). D'après ce tableau, on voit que l'intensité énergétique des exportations n'a presque pas varié entre 1971 et 1976, se maintenant à peu près à 120 mégajoules par dollar de 1971. L'intensité énergétique des importations a diminué sensiblement entre ces deux années, mais a continué d'être de 22 à 26% inférieure à l'intensité énergétique des exportations. On peut expliquer l'écart apparaissant clairement entre les chiffres des tableaux 3 et 4 en se référant au tableau 2: de 1971 à 1976, le compte courant du commerce extérieur en dollars constants est passé d'un modeste surplus à un déficit plus important.

Il faut dire un mot de la méthode utilisée pour mesurer l'intensité énergétique des importations. Les tableaux 3 et 4 affichent les résultats des calculs des besoins énergétiques effectués comme si les biens étaient produits au Canada à l'aide de la technologie canadienne. On peut soutenir que cela surestime l'énergie "effectivement" requise pour produire les biens que le Canada importe, étant donné que nos partenaires commerciaux ont tous connu dans les années 1970 des augmentations des prix énergétiques plus grandes que celles que nous avons enregistrées. Mais on peut aussi soutenir qu'il faut mesurer les importations en fonction des besoins énergétiques intérieurs parce que c'est la seule façon sensée de calculer des "économies" d'énergie tirées des importations qui peuvent être comparées aux "coûts" énergétiques des

exportations et qu'en outre, les seules économies pertinentes sont les économies relatives à l'énergie qu'il aurait fallu consommer si la production avait été faite au Canada.

Maintenant qu'on a noté que l'intensité énergétique des importations a diminué entre 1971 et 1976, on peut se demander dans quelle mesure cette diminution est attribuable aux changements survenus dans les techniques de production (et en particulier dans les caractéristiques énergétiques de ces techniques) et dans quelle mesure elle est attribuable aux changements qui se sont produits dans le composition des biens et services importés. Comme nous l'expliquons dans l'annexe, l'analyse énergétique d'E/S permet de décomposer la différence dans l'intensité énergétique des importations en deux facteurs représentant précisément ces effets. On peut voir les résultats de cette décomposition dans le tableau 5.

Tableau 5
Décomposition de la variation de l'intensité énergétique des importations
En mégajoules par dollar de 1971

Intensité en 1971	94.5
Intensité en 1976	88.3
Différence	-6.2
Facteur intensité énergétique	0.8
Facteur composition des importations	-7.0

Le "facteur intensité énergétique" du tableau 5 mesure les effets des changements survenus dans les techniques de production dont l'utilisation de l'énergie; il fait voir une légère augmentation de l'intensité énergétique de la moyenne des importations. Les effets attribuables aux variations de la composition des importations sont plus marqués et affectés d'un signe moins. Nous voyons donc que la diminution de l'intensité énergétique des importations observée entre 1971 et 1976 est presque entièrement attribuable aux variations de la composition des importations.

Changements structurels des besoins énergétiques

Dans la partie précédente, nous avons examiné les besoins énergétiques des exportations et des importations et vu comment ils ont changé entre 1971 et 1976. Cela nous amène à nous demander quels autres changements se sont produits dans la consommation énergétique entre ces deux années et comment les effets attribuables au commerce extérieur se comparent à eux.

Pour commencer, nous allons comparer la consommation énergétique commerciale totale par dollar constant de PIB de chacune des deux années - en divisant par le PIB on peut tenir compte des effets de la croissance économique. Au moyen des mêmes techniques que celles qui ont été employées pour analyser les variations de l'intensité énergétique des importations, on peut décomposer la différence observée dans la consommation énergétique commerciale par dollar de PIB entre 1971 et 1976 en plusieurs facteurs distincts. Les facteurs que nous avons choisi de présenter ici sont: la technologie, la demande finale, les importations (proportion relative et composition), les exportations (proportion relative et composition) et les coefficients de consommation énergétique directe.

Ces facteurs nécessitent quelques explications:

- Technologie: ce facteur combine les effets des variations de la structure des entrées et des variations des parts de marché de tous les secteurs commerciaux.

- Demande finale: les variations de la quantité et de la composition des biens et services destinés aux ménages, aux administrations publiques, à l'investissement et à l'accumulation des stocks sont combinées dans ce facteur.

- Importations: des facteurs distincts pour la variation de la part relative du PIB que représentent les importations et pour la variation de la composition des importations sont représentés.

- Exportations: comme pour les importations, des facteurs distincts pour la proportion relative et la composition sont calculés.

- Coefficients de consommation énergétique directe: un des facteurs déterminants fondamentaux de l'intensité énergétique est la quantité d'énergie consommée par dollar constant de production dans chaque secteur. Ce facteur mesure l'effet agrégatif des variations de ces coefficients.

Le tableau 6 illustre la variation de la consommation énergétique commerciale par dollar de PIB enregistrée entre 1971 et 1976 et sa décomposition. Les valeurs négatives affichées dans ce tableau indiquent que le facteur a de façon générale diminué l'intensité énergétique du secteur commercial en 1976 par rapport à 1971. Il convient de noter que le changement observé au niveau global est négligeable, étant de 0.6%. Des changements importants se sont toutefois produits au niveau de plusieurs des composantes, en particulier au niveau de la demande finale, de la proportion relative des importations et des coefficients de consommation énergétique directe, comme on peut le voir dans la figure 1.

En notant que l'effet combiné de la proportion relative et de la composition des exportations est également important, nous pouvons conclure à partir de cette décomposition que la structure de la demande finale et de la consommation énergétique directe par unité de production du secteur commercial a eu fortement tendance à faire augmenter l'intensité énergétique entre 1971 et 1976; les changements structuraux observés dans le commerce extérieur ont largement annulé ces effets.

Tableau 6
Décomposition de la consommation énergétique commerciale par dollar de PIB

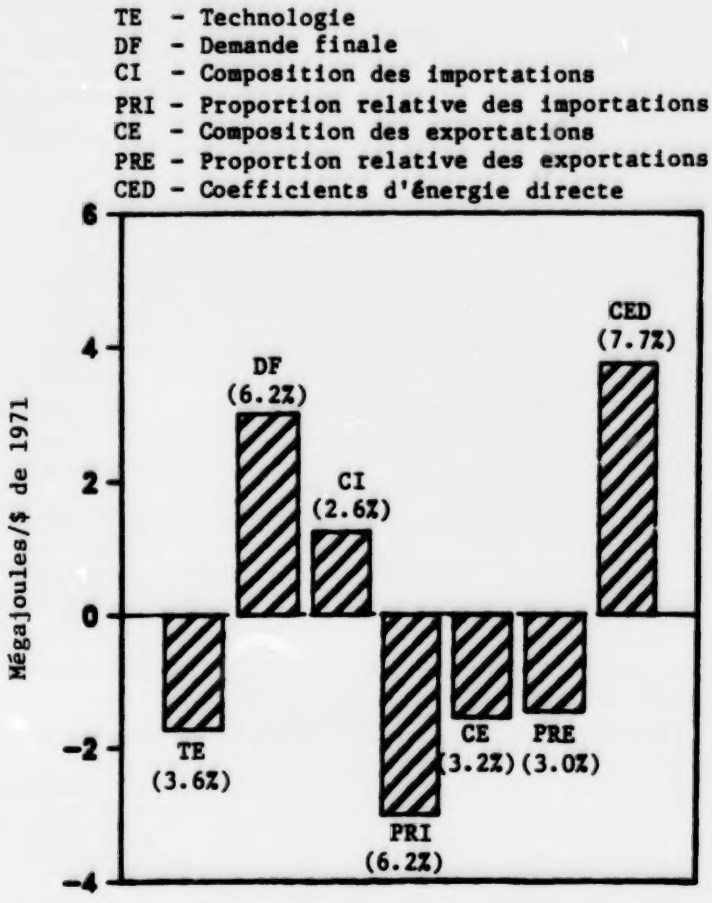
En mégajoules par dollar de 1971

Besoins en énergie primaire en 1971	48.2	
Besoins en énergie primaire en 1976	48.4	
Variation (1976-1971)	0.3	(0.6%)
Variation de la consommation énergétique commerciale par dollar de PIB attribuable à:		
Technologie	-1.7	(3.6%)
Demande finale	3.0	(6.2%)
Composition des importations	1.3	(2.6%)
Proportion relative des importations	-3.0	(6.2%)
Composition des exportations	-1.6	(3.2%)
Proportion relative des exportations	-1.5	(3.0%)
Coefficients de consommation énergétique directe	3.7	(7.7%)
Certains agrégats choisis de ces facteurs:		
Demande, commerce extérieur et technologie	-3.5	(7.2%)
Demande et commerce extérieur	-1.8	(3.6%)
Importations	-1.7	(3.6%)
Exportations	-3.0	(6.2%)

Note: Les pourcentages ont été calculés par rapport à la consommation d'énergie primaire du secteur commercial en 1976.

Figure 1

DÉCOMPOSITION DE LA DIFFÉRENCE ENREGISTRÉE
DANS LES BESOINS ÉNERGÉTIQUES PAR $ DE PIB
1976 - 1971



Analyse et résumé

La conclusion que les exportations canadiennes consomment plus d'énergie que les importations canadiennes semble bien fondée et ressort des valeurs calculées pour 1966, 1971 et 1976. Il n'est pas nécessaire de chercher longtemps pour en trouver la raison: les exportations canadiennes sont composées principalement de matières premières et de produits semi-finis,

Tableau 7
Indices énergétiques choisis, 1976
En mégajoules par $ de 1971

Bois à pâte et copeaux	62.4	Minerai de fer brut et concentré	198.6
Pâtes	259.0	Fonte en gueuses et lingots d'acier	232.3
Produits du papier finals	105.9	Tuyau et tôle	118.6

tandis que les importations canadiennes se composent principalement de produits manufacturés. Les deux exemples du tableau 7 sont typiques: dans le secteur des produits du papier et dans celui du fer et de l'acier, l'indice énergétique par dollar atteint un maximum à l'étape des produits semi-finis et diminue brusquement à l'étape du produit fini.

L'extraction, la séparation et la concentration sont les principales activités de la chaîne de production jusqu'au point des produits semi-finis, et à ces étapes, les intrants énergétiques sont importants et la valeur ajoutée est faible. Passé l'étape du produit semi-fini (c'est-à-dire jusqu'à la fabrication et l'assemblage), les intrants énergétiques sont peu importants et la valeur ajoutée est élevée, ce qui explique, comme on peut le voir dans le tableau 7, que l'indice énergétique augmente au début puis diminue par la suite. Mais il faudrait faire des recherches plus détaillées que la présente étude pour prouver ce point plus en détail.

Concernant les changements survenus entre 1971 et 1976, nous constatons que l'intensité énergétique des exportations et des importations a diminué, de plus de 2 mégajoules/$ (ce qui correspond à une diminution de 1.7%) dans le premier cas et de plus de 6 mégajoules/$ (ce qui correspond à une diminution de 7.0%) dans le deuxième cas. L'intensité énergétique des importations a en réalité augmenté légèrement à cause des changements observés dans les coefficients de consommation énergétique directe, mais les changements enregistrés dans la composition des importations l'ont fait baisser beaucoup.

La consommation énergétique commerciale totale par dollar de PIB (en dollars constants) a varié de façon négligeable au cours de ces années tout comme, en fait, le ratio énergie totale/PIB. Mais cette stabilité apparente cache toute

une série de variations positives ou négatives dans les éléments constitutifs de l'effet total: la technologie de production, la proportion relative des importations et les exportations (proportion relative et composition) ont fait diminuer l'intensité énergétique de 1971 à 1976, tandis que la consommation finale, la composition des importations et les coefficients de consommation énergétique directe ont fait augmenter l'intensité. Les grandes augmentations de l'intensité attribuables aux changements observés dans la demande finale et dans les coefficients de consommation énergétique ont été compensées en très grande partie par les changements observés dans la structure du commerce extérieur.

Il y a deux résultats inattendus qu'il convient de noter: l'augmentation apparente des coefficients de consommation énergétique directe (correspondant à une augmentation de la consommation énergétique par unité de production) et les très petites variations du ratio énergie/PIB et de la proportion relative du mazout dans les approvisionnements intérieurs. Le second résultat peut s'expliquer de plusieurs façons différentes: i) les éléments consommateurs d'énergie dans l'économie ont une longue durée de vie (par exemple les chaudières industrielles, les automobiles; ii) il faut beaucoup de temps pour développer de nouvelles techniques d'économie d'énergie (par exemple pour concevoir et fabriquer des fournaises d'une plus haute efficacité énergétique); et iii) il faut beaucoup de temps pour construire des installations de production d'énergie, en particulier les installations de production d'électricité.

Pour illustrer la différence que l'on pourrait observer après cinq autres années, le tableau 8 présente les mêmes renseignements sommaires que ceux présentés dans les tableaux 1 et 2 mais pour 1981. Comparativement à 1976, nous voyons que les exportations d'électricité primaire augmentent de presque trois fois, tandis que les exportations de pétrole brut baissent à peu près du même chiffre. Concernant les proportions des approvisionnements intérieurs représentées par les diverses sources d'énergie, on observe une augmentation sensible de l'électricité et une diminution correspondante du pétrole brut. Le ratio énergie primaire/PIB diminue de près de 7% et le ratio du commerce extérieur, de 0.08.

Tableau 8
Production et commerce d'énergie primaire
1981

Équivalent en énergie primaire (pétajoules)

	Production	Exportations	Importations	Approvisionnements intérieurs (AI)	Proportion des AI
Charbon	970	464	449	955	10.1%
Gaz naturel	2526	804	0	1722	18.2%
Hydro-électricité	3162	370	15	2806	29.7%
Pétrole brut	3093	366	1138	3865	40.8%
GPLP	315	200	0	115	1.2%
Total	10066	2204	1602	9463	100.0%

Indicateurs économiques agrégés
En millions de dollars de 1971

PIB [1]	139485
Exportations	30917
Importations moins réexportations	32055

Indicateurs énergétiques agrégés

Énergie primaire/PIB	67.8	Mégajoules par $ de 1971
Ratio d'auto-suffisance	1.06	
Ratio du commerce extérieur	0.20	

Notes: [1] Source: Réf. 4

Le ratio d'auto-suffisance correspond au ratio de la production d'énergie primaire sur la consommation intérieure d'énergie primaire. Le ratio du commerce extérieur correspond au ratio de la moyenne des exportations et des importations sur la consommation intérieure.

On peut expliquer bon nombre des résultats de la présente étude concernant les changements observés entre 1971 et 1976 par des variations des prix relatifs. Par exemple, nous notons que pendant cet intervalle, les importations ont évolué vers des produits à intensité énergétique moins élevée et que, parallèlement, le commerce extérieur des ressources énergétiques a ralenti, tandis que les importations de pétrole sont devenues chères et que la production canadienne de pétrole a diminué. L'exception est la consommation directe d'énergie par unité de production dans le secteur commercial qui a en fait augmenté durant la période considérée.

Le Canada a toujours été un pays riche en énergie et un exportateur de ressources énergétiques. La présente étude révèle dans quelle mesure on peut aussi dire que le Canada est un gros exportateur net d'énergie indirecte à cause de la structure de ses échanges commerciaux. En 1971, l'augmentation de la consommation énergétique attribuable à la structure du commerce canadien représentait plus de 14% de la consommation énergétique commerciale et plus de 9% de la consommation intérieure globale. Cela résulte du fait que l'intensité énergétique des exportations par dollar était beaucoup plus élevée que celle des importations, la différence ayant été de 26% environ en 1976.

Annexe: Analyse énergétique fondée sur un modèle d'E/S

Le système canadien d'entrée-sortie distingue 191 industries et 602 produits représentés dans un cadre comptable rectangulaire. Pour construire le modèle de travail, deux hypothèses ont été formulées: i) une au sujet de la technologie de production, selon laquelle on suppose que les entrées de chaque industrie sont utilisées dans des proportions fixes par rapport à la production globale de l'industrie et ii) une autre au sujet des parts de marché fixes, selon laquelle on suppose que chaque secteur de production occupe une part constante du marché total d'un produit quelconque. Par convention, la matrice de technologie est notée B (elle est de dimensions produit par branche d'activité) et la matrice des parts de marché (de dimensions industrie par produit) est notée D. Si on désigne par g le vecteur de la valeur des sorties totales des industries (c'est-à-dire la somme de tous les biens produits par chaque secteur), par q le vecteur de la valeur des sorties totales de produits, par x le vecteur des exportations, par m le vecteur des importations moins les réexportations et par f le vecteur des autres catégories de demande finale, on obtient:

$$q = Bg + f + x - m \tag{1}$$

$$g = Dq \tag{2}$$

La première identité dit que la valeur des sorties totales est égale à la somme de la demande intermédiaire, de la demande finale (y compris les dépenses des consommateurs, les dépenses des administrations publiques, l'investissement et l'accumulation des stocks) et des exportations moins les importations. La seconde identité exprime simplement l'hypothèse des parts de marché fixes sous forme mathématique. Pour nos besoins, B et D sont des coefficients sans dimension et tous les autres vecteurs sont mesurés en dollars. À partir de cela, on peut résoudre l'équation par rapport à la valeur des sorties totales des industries en substituant (1) dans (2), ce qui donne:

$$g = (I-DB)^{-1}D(f+x-m) \tag{3}$$

Si on définit e comme étant un vecteur d'équivalents en énergie primaire directe totale consommés par dollar de production dans chaque secteur commercial, on peut exprimer les besoins en énergie directe et indirecte par dollar de demande de chaque produit (indices énergétiques) E de la façon suivante:

$$E = e(I-DB)^{-1}D \qquad (4)$$

La méthode utilisée pour construire les tableaux du système canadien d'E/S est expliquée en détail dans la référence [9]. La méthode utilisée pour construire les coefficients des besoins en énergie directe est expliquée dans le document de travail [10]. C'est parce que la plupart des données importantes sur l'énergie sont exprimées en quantité physique dans le système statistique canadien que la qualité de ces coefficients est bonne, ce qui élimine la nécessité de faire des estimations des quantités physiques.

Étant donné l'expression précédente des indices énergétiques, on peut calculer les quantités d'énergie nécessaires pour produire tout ensemble de biens (mesuré en dollars) en prenant le produit interne de E et la valeur de l'ensemble des biens choisis. Selon cette définition, les besoins énergétiques mesurent la consommation énergétique du secteur commercial; en termes de Comptes nationaux, ils représentent la consommation intermédiaire d'énergie.

Il faut remarquer à partir des expressions (3) et (4) que les termes de technologie - $(I-DB)^{-1}D$ - correspondent à la matrice inverse de la matrice de Leontieff et mesurent les relations interindustrielles par rapport à une technologie canadienne "pure", c'est-à-dire sans fuites d'importations intermédiaires. L'effet net du commerce extérieur sur les besoins énergétiques commerciaux est mesuré par la différence entre les deux expressions suivantes:

$$t_1 = e(I-DB)^{-1}D(f+x-m) \qquad (5)$$

$$t_2 = e(I-DB)^{-1}Df \qquad (6)$$

L'expression (5) représente l'énergie requise pour répondre à la demande f des utilisateurs finals conjuguée avec les exportations de biens x et les importations de biens m; à cet égard, on peut considérer les importations de biens comme des besoins énergétiques qu'on n'a pas à satisfaire. L'expression (6) permet de calculer l'énergie requise pour répondre à la même demande f des utilisateurs finals, mais en l'absence de commerce extérieur.

La différence observée dans l'intensité énergétique des importations peut être décomposée en effets attribuables aux variations des indices énergétiques des produits et en effets attribuables aux variations de la structure des importations. Nous allons supposer que l'indice supérieur "*" indique qu'il s'agit de 1971 et que les termes qui ne sont pas affectés de cet indice représentent des chiffres de 1976. On peut représenter la variation observée dans l'intensité énergétique des importations comme suit:

$$M-M^* = Em - E^*m^*$$
$$= (E-E^*)m + E^*(m-m^*) \qquad (7)$$

Dans ce cas-ci, M représente l'intensité énergétique des importations en 1976 et m, le vecteur de structure ou de composition (c'est-à-dire les importations concurrentielles moins les réexportations divisées par leur total).

La décomposition des mesures agrégées utilisées dans l'expression (7) peut être utile pour examiner les composantes de la consommation énergétique commerciale totale par dollar de PIB et voir comment elles ont varié entre 1971 et 1976. Dans ce qui suit, nous supposons que f, x, m et g sont tous mesurés en dollars constants de PIB. Soit S l'énergie commerciale totale requise par dollar de PIB et soit, pour faciliter l'exposé

$$R = (I-DB)^{-1}D, \quad d = f+x-m$$

Si, comme précédemment, l'indice supérieur "*" représente des données de 1971, alors:

$$S-S^* = eg - e^*g^*$$
$$= e(g-g^*) + (e-e^*)g^* \qquad (8)$$

Le premier terme de (8) représente les variations de l'intensité énergétique commerciale attribuables à la structure de la demande et de la production, tandis que le second représente les variations attribuables à la structure de la consommation énergétique commerciale, c'est-à-dire les variations observées dans les coefficients de consommation énergétique directe e de l'expression (4). On peut aussi décomposer cette expression comme suit:

$$\begin{aligned} g-g^* &= Rd - R^*d^* \\ &= (R-R^*)d + R^*(d-d^*) \end{aligned} \qquad (9)$$

Les changements qui se sont produits dans l'intensité énergétique commerciale à cause de changements au niveau de la technologie (ou, plus précisément, à cause des changements observés dans les coefficients des intrants et les parts de marché) sont représentés par le premier terme de (9), tandis que le second terme représente les changements attribuables à la structure de la demande. Ce dernier terme se décompose de façon évidente en plusieurs termes représentant les changements observés dans la structure de la demande finale, des exportations et des importations. Concernant les exportations et les importations, il est intéressant de distinguer la partie des différences observées qui est attribuable à la proportion relative (c'est-à-dire à la proportion du PIB) et celle qui est attribuable à la composition. Si X est la proportion totale du PIB que représentaient les exportations en 1976 et t, le vecteur normalisé des exportations, alors:

$$\begin{aligned} x-x^* &= Xt - X^*t^* \\ &= (X-X^*)t + X^*(t-t^*) \end{aligned} \qquad (10)$$

Les décompositions de différences de produits comme celles qui sont présentées dans les expressions (7) à (10) ne sont pas les seules possibles; il est facile de prouver que si le produit comprend n termes, il y a 2^{n-1} décompositions possibles. La vérification d'autres décompositions possibles des éléments contenus dans la présente étude a produit les mêmes résultats.

Référence

1. Leontief, W., Input/Output Economics, Oxford University Press, 1966. (Chapter 5 reprints a paper from 1953.)

2. Postner, H.H., Factor Content of Canadian International Trade: An Input/Output Analysis, Economic Council of Canada, 1975.

3. Statistics Canada, Detailed Energy Supply and Demand in Canada, Catalogue no. 57-207.

4. Statistics Canada, The Input-Output Structure of the Canadian Economy in Constant Prices 1971-76, Catalogue no. 15-202E.

5. Herendeen, R.A., The Energy Cost of Goods and Services, Oak Ridge National Laboratory, ORNL-NSF-EP-58, Oct. 1973.

6. Flaschel, P., Input-Output Technology Assumptions and the Energy Requirements of Commodities, Resources and Energy, Vol. 4 No. 4, 1982.

7. McInnis, B., and K. Hamilton, Gross Energy Requirements for the Production of Goods - An I/O Baseline, Statistics Canada, Structural Analysis Division Working Paper 75-06-01.

8. Hamilton, K., An Energy Analysis of Canadian External Trade 1966, Statistics Canada, Structural Analysis Division Working Paper 77-03-03.

9. Statistics Canada, The Input-Output Structure of the Canadian Economy 1961-71, Catalogue no. 15-506E.

10. Deachman, J., and K. Hamilton, Energy Availability, Detailed Disposition, and Industrial Demand Coefficients for Canada, 1971, Statistics Canada, Structural Analysis Division Working Paper 78-08-01.

DIRECTION DES ÉTUDES ANALYTIQUES

DOCUMENTS DE RECHERCHE

No

1. RÉACTION COMPORTEMENTALE DANS LE CONTEXTE D'UNE SIMULATION MICRO-ANALYTIQUE SOCIO-ÉCONOMIQUE par Lars Osberg

2. CHÔMAGE ET FORMATION par Garnett Picot

3. DES PENSIONS AUX PERSONNES AU FOYER ET LEUR RÉPARTITION SUR LA DURÉE DU CYCLE DE VIE par Michael Wolfson

4. LA MODÉLISATION DES PROFILS D'EMPLOI DES CANADIENS AU COURS DE LEUR EXISTENCE par Garnett Picot

5. PERTE D'UN EMPLOI ET ADAPTATION AU MARCHÉ DU TRAVAIL DANS L'ÉCONOMIE CANADIENNE par Garnett Picot et Ted Wannell

6. SYSTÈME DE STATISTIQUES RELATIVES À LA SANTÉ: PROPOSITION D'UN NOUVEAU CADRE THÉORIQUE VISANT L'INTÉGRATION DE DONNÉES RELATIVES À LA SANTÉ par Michael Wolfson

7. PROJET PILOTE DE RACCORDEMENT MICRO-MACRO POUR LE SECTEUR DES MÉNAGES AU CANADA par Hans Adler et Michael Wolfson

8. NOTES SUR LES GROUPEMENTS DE SOCIÉTÉ ET L'IMPÔT SUR LE REVENU AU CANADA par Michael Wolfson

9. L'EXPANSION DE LA CLASSE MOYENNE: DONNÉES CANADIENNES SUR LE DÉBAT SUR LA DÉQUALIFICATION par John Myles

10. LA MONTÉE DES CONGLOMÉRATS par Jorge Niosi

11. ANALYSE ÉNERGÉTIQUE DU COMMERCE EXTÉRIEUR CANADIEN: 1971 et 1976 par K.E. Hamilton

12. TAUX NETS ET BRUTS DE CONCENTRATION DES TERRES par Ray D. Bollman et Philip Ehrensaft

13. TABLE DE MORTALITÉ EN L'ABSENCE D'UNE CAUSE POUR LE CANADA (1921 À 1981): Une méthode d'analyse de transition épidémiologique par Dhruva Nagnur et Michael Nagrodski

Pour de plus amples renseignements, s'adresser au Président, Comité d'études des publications, Direction des études analytiques, Édifice R.H. Coats, 24ième étage, Statistique Canada, Parc Tunney's, Ottawa, Ontario K1A 0T6.